



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Offenlegungsschrift

DE 199 43 406 A 1

(51) Int. Cl.⁷:
H 01 L 33/00

(71) Anmelder:

OSRAM Opto Semiconductors GmbH & Co. oHG,
93049 Regensburg, DE

(74) Vertreter:

Epping, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 80339
München

(72) Erfinder:

Wirth, Ralph, Dr., 93049 Regensburg, DE

(56) Entgegenhaltungen:

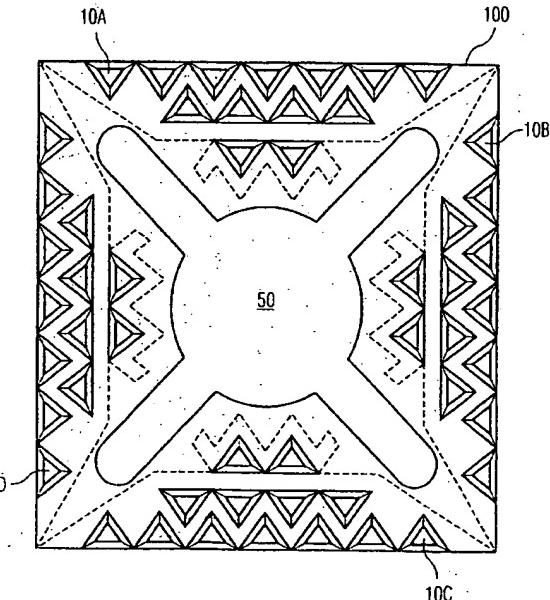
DE	197 09 228 A1
DE	42 18 806 A1
US	52 33 204 A
US	50 08 718 A
EP	04 05 757 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Lichtemissionsdiode mit Oberflächenstrukturierung

(51) Eine Lichtemissionsdiode wird zur Verbesserung der Lichteckkopplung auf mindestens einem Abschnitt ihrer lichtaustrittsseitigen Oberfläche mit einer Mehrzahl von Pyramidenstümpfen (10A-D) bedeckt, an deren Seitenflanken die von einer lichterzeugenden Schicht emittierte und durch die Grundfläche der Pyramidenstümpfe (10A-D) in diese eintretende Lichtstrahlung effizient ausgetragen werden kann.



DE 199 43 406 A 1

DE 199 43 406 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Lichtemissionsdiode nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Lichtemissionsdiode, bei der die dem Substrat gegenüberliegende Oberfläche zur Verbesserung der Lichtauskopplung auf mindestens einem Abschnitt eine Mehrzahl von Pyramidenstümpfen aufweist.

Lichtemissionsdioden, wie Halbleiter-Leuchtdioden (LED), zeichnen sich insbesondere dadurch aus, daß je nach Materialsystem der interne Umwandlungswirkungsgrad von zugeführter elektrischer Energie in Strahlungsenergie sehr groß, d. h. durchaus größer als 80% sein kann. Die effektive Lichtauskopplung aus dem Halbleiterkristall wird jedoch durch den hohen Brechungsindexsprung zwischen dem Halbleitermaterial (typischerweise $n = 3,5$) und dem umgebenden Harzguß-Material (typischerweise $n = 1,5$) erschwert. Der sich daraus ergebende kleine Totalreflexionswinkel an der Grenzfläche Halbleiter-Harzvergußmaterial von ca. 26° führt dazu, daß nur ein Bruchteil des erzeugten Lichts ausgekoppelt werden kann. In der typischerweise bei der Herstellung verwendeten einfachen würfelförmigen Gestalt der LED bleibt ein Strahlungsbündel, das nicht in dem ca. 26° weiten Auskoppelkegel emittiert wird, in dem Halbleiterkristall gefangen, da sein Winkel zu den Oberflächennormalen auch durch Vielfachreflexion nicht verändert wird. Das Strahlungsbündel wird infolgedessen früher oder später durch Absorption vor allem im Bereich des Kontakts, der aktiven Zone oder im Substrat verlorengehen. Insbesondere bei InGaAlP-LEDs stellt das absorbierende GaAs-Substrat ein besonderes Problem dar. In konventionellen LEDs dieser Art gehen die von der aktiven Zone in Richtung zur Oberfläche der LED emittierten Strahlen, die außerhalb des Auskoppelkegels liegen, mit hoher Wahrscheinlichkeit im Substrat durch Absorption Verloren.

Der in der Praxis am häufigsten verwendete Weg, das geschilderte Problem zu mildern, besteht darin, eine dicke Halbleiter-Schicht an der Oberseite der LED aufzubringen. Dies ermöglicht die teilweise Nutzung der seitlichen Auskoppelkegel der emittierten Lichtstrahlung.

In der U.S.-A-5,008,718 wird vorgeschlagen, in einer Al-GaInP-LED hauptsächlich aus Gründen der lateralen Verbreiterung des durch einen elektrischen Kontakt injizierten Stromes eine elektrisch leitfähige und für die emittierte Lichtstrahlung transparente GaP-Schicht auf den aktiven, lichtemittierenden Schichten aufzubringen. Auf den vorteilhaften Nebeneffekt der Verminderung der internen Totalreflexion und die Ermöglichung der seitlichen Auskopplung der Lichtstrahlung durch die Wirkung der dicken GaP-Schicht wird an anderer Stelle hingewiesen. Zusätzlich wird vorgeschlagen, das für die emittierte Lichtstrahlung undurchsichtige GaAs-Substrat durch Abätzen zu entfernen und durch mindestens eine transparente Substratschicht aus einem geeigneten Material, wie GaP, zu ersetzen.

Auch in der U.S.-A-5,233,204 wird die Verwendung einer oder mehrerer dicker und transparenter Schichten in einer Lichtemissionsdiode vorgeschlagen. Für die Anordnung und Anzahl dieser transparenten Schichten werden verschiedene Konfigurationen beschrieben. Unter anderem wird eine unterhalb der aktiven, lichterzeugenden Schicht angeordnete, sich in Richtung auf das Substrat verjüngende und trichterförmig gebildete Schicht vorgeschlagen (Fig. 10).

Die bisher bekanntgewordenen Lösungsvarianten sind jedoch entweder technologisch relativ aufwendig oder erbringen nicht die erwünschte Steigerung der Lichtauskopplung aus einer Lichtemissionsdiode. Insbesondere das Aufwachsen einer relativ dicken, transparenten Halbleiterschicht ist bei der Herstellung von Lichtemissionsdioden ein relativ

zeitaufwendiger Vorgang, da als Wachstumsverfahren zu meist entweder die metallorganische Gasphasenepitaxie (MOCVD) oder die Molekularstrahlepitaxie (MBE) eingesetzt werden. Bei diesen Wachstumsverfahren ist die Herstellung einer $10\text{--}20 \mu\text{m}$ dicken transparenten Halbleiterschicht ein zeitaufwendiger Prozeß, durch den die Gesamtdauer der Herstellung der Lichtemissionsdiode in nicht akzeptabler Weise verlängert wird.

Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lichtemissionsdiode mit einer hohen effektiven Lichtauskopplung anzugeben, die ohne zusätzliche komplizierte oder zeitaufwendige Fertigungsschritte hergestellt werden kann.

Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Demgemäß beschreibt die Erfindung eine Lichtemissionsdiode mit einer Halbleiterschichtstruktur enthaltend ein Substrat und mindestens eine auf dem Substrat geformte lichterzeugende Schicht, eine erste elektrische Kontaktsschicht auf dem Substrat und eine zweite elektrische Kontaktsschicht auf mindestens einem Abschnitt der dem Substrat gegenüberliegenden Oberfläche der Halbleiterschichtstruktur, wobei die dem Substrat gegenüberliegende Oberfläche auf mindestens einem Abschnitt derart strukturiert ist, daß sie eine Mehrzahl von Pyramidenstümpfen aufweist.

In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Pyramidenstümpfe dreiseitig ausgeführt.

In den erfundungsgemäßen Pyramidenstümpfen wird ein Lichtstrahl durch Mehrfachreflexionen in einen Auskoppelkegel gelenkt. Zur Auskopplung werden nur Strahlen verwendet, die steil zur Oberseite der LED hin verlaufen. Dadurch werden lange Wege in der lichterzeugenden Schicht vermieden. Die schrägen Flanken der Pyramidenstümpfen gewährleisten, daß die zunächst steil nach oben verlaufenden Strahlen mit jeder der Reflexionen flacher verlaufen, so daß sie schließlich seitlich aus den Seitenwänden der Pyramidenstümpfe ausgekoppelt werden.

Vorzugsweise ist der mit der zweiten elektrischen Kontaktsschicht bedeckte Abschnitt der lichtaustrittsseitigen Oberfläche unstrukturiert. In einer beispielhaften Ausführungsform ist bei einer quadratischen oder rechteckigen LED die zweite elektrische Kontaktsschicht in Form einer Kreuzstruktur auf der lichtaustrittsseitigen Oberfläche aufgebracht. Diese Kreuzstruktur besteht aus einem im wesentlichen kreisförmigen Anschlußpad im Zentrum der rechteckigen lichtaustrittsseitigen Oberfläche und vom Kreisumfang in Richtung auf die vier Ecken des Chips verlaufenden fingerförmigen Anschlußflächen. Die zwischen diesen vier fingerförmigen Anschlußflächen liegenden Abschnitte sind jeweils mit einer Mehrzahl von Pyramidenstümpfen belegt, die derart angeordnet sind, daß eine möglichst große Anzahl aufgebracht werden kann.

Bezüglich der Form der Pyramidenstümpfen gibt es eine Mehrzahl von Parametern, die zu einer Optimierung der Auskopplung führen, wie bei sogenannten Raytracing-Simulationen ausführlich untersucht worden ist. Im folgenden werden optimierte Parameterbereiche für dreiseitige Pyramidenstümpfe angegeben. Wenn der Pyramidenstumpf eine Grundfläche A und eine Höhe h aufweist, so wird mit V das Verhältnis der Wurzel der Grundfläche zur Höhe des Pyramidenstumpfs beschrieben:

$$V = A^{1/2}/h$$

Ferner sind von Bedeutung die Anstellwinkel der drei Seitenflanken des Pyramidenstumpfes φ und die Winkel α , β und γ der dreieckigen Grundfläche.

Die besten Resultate werden nach den Raytracing-Simu-

lationen mit den folgenden Parameterbereichen erreicht:
 $0,1 \leq V \leq 10$

$$45^\circ \leq \varphi \leq 88^\circ$$

$$\alpha, \beta, \gamma > 10^\circ$$

Besonders gute Werte für die Lichtauskopplung ergaben sich mit $V = 1$, $\varphi = 75^\circ$ und einem gleichschenkligen Dreieck als Grundfläche mit einem Hauptwinkel $\theta = 70^\circ$.

Die vorliegende Erfindung weist außerdem den Vorteil auf, daß sie auf einem nichthologischen Auskopplungsprinzip beruht, so daß technisch schwierig zu beherrschende Prozesse zur Stromeinschränkung entfallen. Weiterhin muß nur das obere Fenster strukturiert werden, während die aktive Zone nicht durchgeätzt und mithin nicht beschädigt wird. Die Struktur ist vergleichsweise einfach mit nur einem zusätzlichen lithographischen Prozeßschritt und nachfolgender Trockenätzung zu realisieren.

Außerdem können bei der vorliegenden Erfindung auch Pyramidenstümpfe mit vier oder mehr als vier Seiten zum Einsatz kommen.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische, vereinfachte Querschnittsdarstellung der üblichen Anordnung einer LED in einem Reflektor;

Fig. 2 eine beispielhafte Form eines erfundungsgemäßen dreiseitigen Pyramidenstumpfes;

Fig. 3 eine Draufsicht auf eine rechteckförmige Oberfläche einer LED, die abschnittsweise mit erfundungsgemäßen Pyramidenstümpfen belegt ist.

Die **Fig. 1** zeigt einen LED-Chip **100**, wie er in einem im Querschnitt kreis- oder parabelförmigen Reflektor **200** angeordnet ist, so daß die von ihm emittierten Lichtstrahlen sowohl auf direktem Wege abgestrahlt werden als auch durch den Reflektor **200** gesammelt und im wesentlichen in dieselbe Richtung emittiert werden. Im allgemeinen ist der LED-Chip **100** in einem Harzvergußmaterial eingebettet, so daß insbesondere an seiner lichtaustrittsseitigen Oberfläche eine Grenzfläche zwischen Halbleitermaterial und Harzvergußmaterial besteht. An dieser Grenzfläche existiert ein relativ großer Brechungsindexsprung, so daß bereits bei relativ geringen Einfallswinkeln zur Normalen eine Totalreflexion eintritt. Diese totalreflektierten Strahlen sollen nach Möglichkeit durch die Seitenwände des LED-Chips **100** ausgekoppelt werden und von dem Reflektor **200** gesammelt werden können, anstatt in dem Substrat des LED-Chips **100** absorbiert zu werden.

Eine erfundungsgemäße Lichtemissionsdiode weist eine Halbleiterschichtstruktur mit einem lichtabsorbierenden Substrat und mindestens einer auf dem Substrat geformten lichterzeugenden Schicht auf. Die lichterzeugende Schicht wird durch einen pn-Übergang gebildet. Falls gewünscht, kann eine Einfach- oder Mehrfach-Quantentrogstruktur als lichterzeugende Schicht vorgesehen sein. Die lichterzeugende Schicht befindet sich relativ nahe an der dem Substrat gegenüberliegenden lichtaustrittsseitigen Oberfläche der Halbleiterschichtstruktur. Auf dem Substrat ist eine erste elektrische Kontaktsschicht ganzflächig aufgebracht, während auf mindestens einem Abschnitt der dem Substrat gegenüberliegenden Oberfläche der Halbleiterschichtstruktur eine zweite elektrische Kontaktsschicht aufgebracht ist. Vorzugsweise in den nicht von der zweiten elektrischen Kontaktsschicht belegten Abschnitten ist diese Oberfläche derart strukturiert, daß sie eine Mehrzahl von dreiseitigen Pyramidenstümpfen aufweist.

Ein derartiger Pyramidenstumpf **10** ist beispielhaft in **Fig. 2** perspektivisch dargestellt. Er weist eine Grundfläche **1** auf, deren Flächeninhalt A beträgt und deren Winkel mit α , β und γ bezeichnet werden. Diese Winkel sind betragsmäßig 5 vorzugsweise jeweils größer als 10° . Beispielsweise kann ein gleichschenkliges Dreieck zum Einsatz kommen, bei welchem ein Hauptwinkel θ ein Winkelmaß von 70° aufweist. Die Seitenwände **2A**, **B**, **C** des Pyramidenstumpfes **10** weisen Anstellwinkel φ auf, die vorzugsweise in einem Bereich zwischen 45° und 85° liegen. Der Pyramidenstumpf **10** verjüngt sich somit bis zu einer Fläche **3**, die der Grundfläche **1** gegenüberliegt, wobei die Ebenen der Grundfläche **1** und der Fläche **3** einander parallel liegen.

In dem LED-Chip ist die dem Substrat gegenüberliegende 15 Oberfläche auf mindestens einem Abschnitt mit Pyramidenstümpfen **10** der dargestellten Art bedeckt. Wie üblich kann der LED-Chip mit einem Epoxidharz-Material vergossen sein, so daß an den Seitenflanken **2A**, **B**, **C** der Pyramidenstümpfe **10** ein Brechungsindexsprung zu dem umgebenden Harzmaterial auftritt. Lichtstrahlen, die von einem pn-Übergang unterhalb des Pyramidenstumpfes **10** durch seine Grundfläche **1** in den Pyramidenstumpf **10** eintreten, werden entweder an den Seitenflanken **2A**, **B**, **C** totalreflektiert und treten durch diese in das umgebende Harzmaterial ein und 20 werden somit aus dem LED-Chip ausgekoppelt. Solche Lichtstrahlen, die in einem schrägen Winkel durch die Grundfläche **1** hindurchtreten, fallen relativ senkrecht auf die Seitenflanken **2A**, **B**, **C** auf und treten somit direkt durch diese hindurch. Andere Lichtstrahlen wiederum, die durch 25 die Grundfläche **1** senkrecht hindurchtreten, fallen unter einem relativ flachen Winkel auf die Seitenflanken **2A**, **B**, **C** und werden daher an diesen totalreflektiert. Nach einer Reflexion trifft der Lichtstrahl jedoch auf die gegenüberliegende Seitenflanke. Mit jeder Reflexion wird infolge der 30 Schrägstellung der Seitenflanken der Einfallswinkel des Lichtstrahls auf die jeweilige Seitenflanke kleiner, so daß es nach einer bestimmten Anzahl von Reflexionen zu einer seitlichen Auskopplung des Lichtstrahls aus dem Pyramidenstumpf **10** kommt. Die Durchführung sogenannter Ray-tracing-Simulationen hat ergeben, daß eine optimierte Konfiguration der Parameter des Pyramidenstumpfes durch ein gleichschenkliges Dreieck als Grundfläche **1** mit einem Hauptwinkel $\theta = 70^\circ$, Anstellwinkeln $\varphi = 75^\circ$ und einer Höhe h des Pyramidenstumpfes **10** entsprechend der Wurzel 35 des Flächenmaßes A der Grundfläche **1** gegeben ist.

In **Fig. 3** ist ein LED-Chip **100** in einer Draufsicht auf die dem Substrat gegenüberliegende Oberfläche dargestellt. Auf dem Substrat ist eine erste elektrische Kontaktsschicht (nicht dargestellt) aufgebracht, während die in der **Fig. 3** dargestellte Oberfläche mit einer zweiten elektrischen Kontaktsschicht **50** versehen ist. Diese zweite elektrische Kontaktsschicht **50** weist eine Kreuzstruktur mit einer zentralen kreisförmigen Kontaktfläche und von deren Umfang in Richtung auf die Ecken der rechteckförmigen Oberfläche 40 ausgehenden fingerförmigen Kontaktflächen auf. Die zweite elektrische Kontaktsschicht **50** kann durch eine undurchsichtige Metallschicht oder durch eine dünne, transparente Schicht, wie eine ITO (Indiumzinnoxid)-Schicht, gebildet sein. Zwischen den fingerförmigen Kontaktflächen der zweiten elektrischen Kontaktsschicht **50** sind jedenfalls 45 transparente Fensterbereiche **A-D** gebildet, in denen jeweils Pyramidenstümpfe **10A-10D** aufgebracht sind. In der Draufsicht ist von jedem der Pyramidenstümpfe die obere, kleinere Fläche und die untere Grundfläche zu sehen. Die Pyramidenstümpfe sind derart angeordnet, daß eine möglichst große Anzahl in jedem der fensterförmigen Bereiche **A-D** angeordnet werden können.

Wenn eine transparente Kontaktsschicht **50** vorgesehen ist,

so kann auch in dem Bereich der Kontaktsschicht 50 eine Belegung mit Pyramidenstümpfen 10 vorgenommen werden.

Es können auch Pyramidenstümpfe mit vier oder mehr als vier Seiten verwendet werden. Auch der Grenzfall eines Kegelstumpfes, der eine kreisförmige Querschnittsfläche aufweist, soll von der vorliegenden Erfindung mitumfaßt sein.

Bezugszeichenliste

1 Grundfläche	10
2A, B, C Seitenwände	
3 Fläche	
10 Pyramidenstumpf	
10A-D Pyramidenstümpfe	
50 zweite elektrische Kontaktsschicht	15
100 LED-Chip	
200 Reflektor	

Patentansprüche

1. Lichtemissionsdiode, mit
 - einer Halbleiterschichtstruktur enthaltend ein Substrat und mindestens eine auf dem Substrat geformte lichterzeugende Schicht,
 - eine erste elektrische Kontaktsschicht auf dem Substrat, und
 - eine zweite elektrische Kontaktsschicht (50) auf mindestens einem Abschnitt der dem Substrat gegenüberliegenden Oberfläche der Halbleiter-schichtstruktur,

30

dadurch gekennzeichnet, daß

 - die dem Substrat gegenüberliegende Oberfläche auf mindestens einem Abschnitt derart strukturiert ist, daß sie eine Mehrzahl von Pyramidenstümpfen (10) aufweist.

35
2. Lichtemissionsdiode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die Pyramidenstümpfe (10) dreiseitig sind.
3. Lichtemissionsdiode nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die dreiseitigen Pyramidenstümpfe (10) durch folgende Parameterbereiche definiert sind:

$$0,1 \leq V \leq 10$$

45

$$45^\circ \leq \varphi \leq 88^\circ$$

$$\alpha, \beta, \gamma > 10^\circ$$

– wobei $V = A^{1/2}/h$ ist und A das Flächenmaß der dreieckigen Grundfläche (1) des Pyramidenstumpfes (10) und h die Höhe des Pyramidenstumpfes (10) ist, φ die Anstellwinkel der Flanken der Pyramidenstümpfe (10) und α, β, γ die Winkel der dreieckigen Grundfläche (1) sind.

55

4. Lichtemissionsdiode nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß
 - $V = 1$, $\varphi = 75^\circ$ für alle Seitenflanken (2A, 2B, 2C) und die Grundfläche (1) ein gleichschenkliges Dreieck mit dem Hauptwinkel $\theta = 70^\circ$ ist.
5. Lichtemissionsdiode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die Pyramidenstümpfe (10) vier oder mehr als vier Seiten aufweisen.
6. Lichtemissionsdiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
 - der mit der zweiten elektrischen Kontaktsschicht (50) bedeckte Abschnitt der dem Substrat gegen-

überliegenden Oberfläche unstrukturiert ist.

7. Lichtemissionsdiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
 - das Substrat aus GaAs gebildet ist und die lichterzeugende Schicht aus InGaAlP gebildet ist.
8. Lichtemissionsdiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die Oberflächenstruktur durch einen zusätzlichen lithographischen Prozeßschritt und nachfolgender Trockenätzung erzeugt wird.
9. Lichtemissionsdiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die dem Substrat gegenüberliegende Oberfläche rechteckförmig ist,
 - die zweite elektrische Kontaktsschicht (50) eine Kreuzstruktur mit einer zentralen Anschlußfläche und von dieser ausgehend, jeweils in Richtung auf die vier Ecken der rechteckförmigen Oberfläche verlaufenden fingerförmigen Anschlußflächen gebildet ist,
 - die Bereiche (A-D) zwischen den fingerförmigen Anschlußflächen mit Pyramidenstümpfen (10) bedeckt sind.
10. Lichtemissionsdiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die zweite elektrische Kontaktsschicht (50) für die emittierte Lichtstrahlung undurchsichtig ist.
11. Lichtemissionsdiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die zweite elektrische Kontaktsschicht (50) durch eine transparente, dünne, elektrisch leitfähige Schicht, insbesondere eine ITO (Indiumzinn-oxid)-Schicht gebildet ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

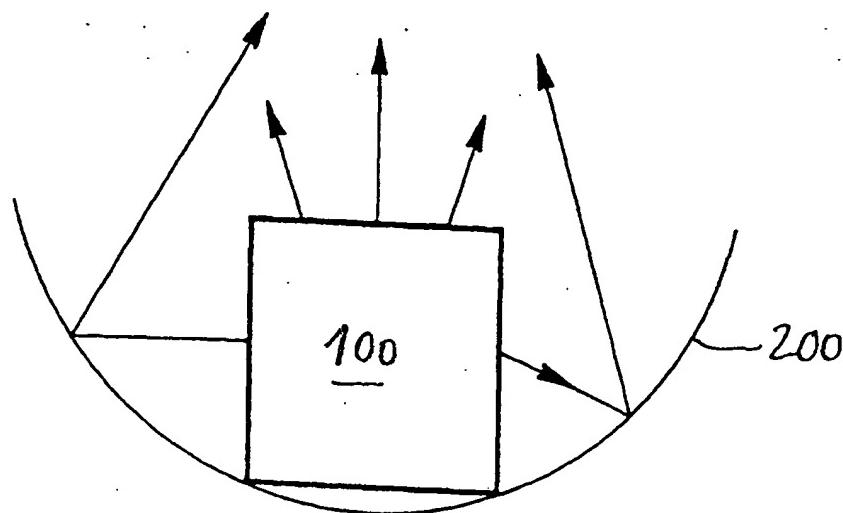


Fig. 1

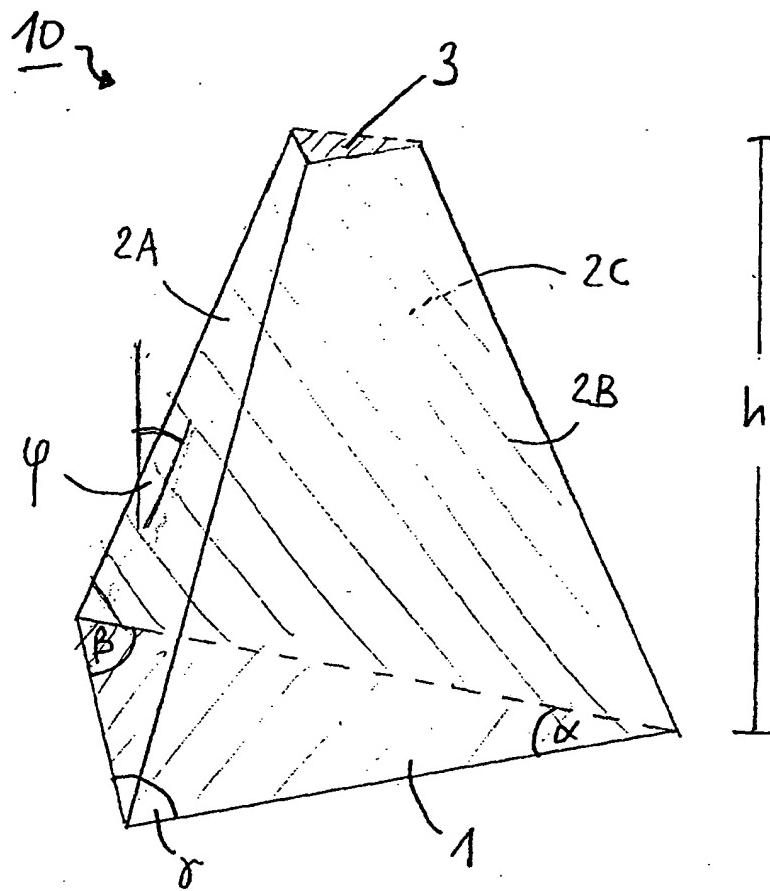


Fig. 2

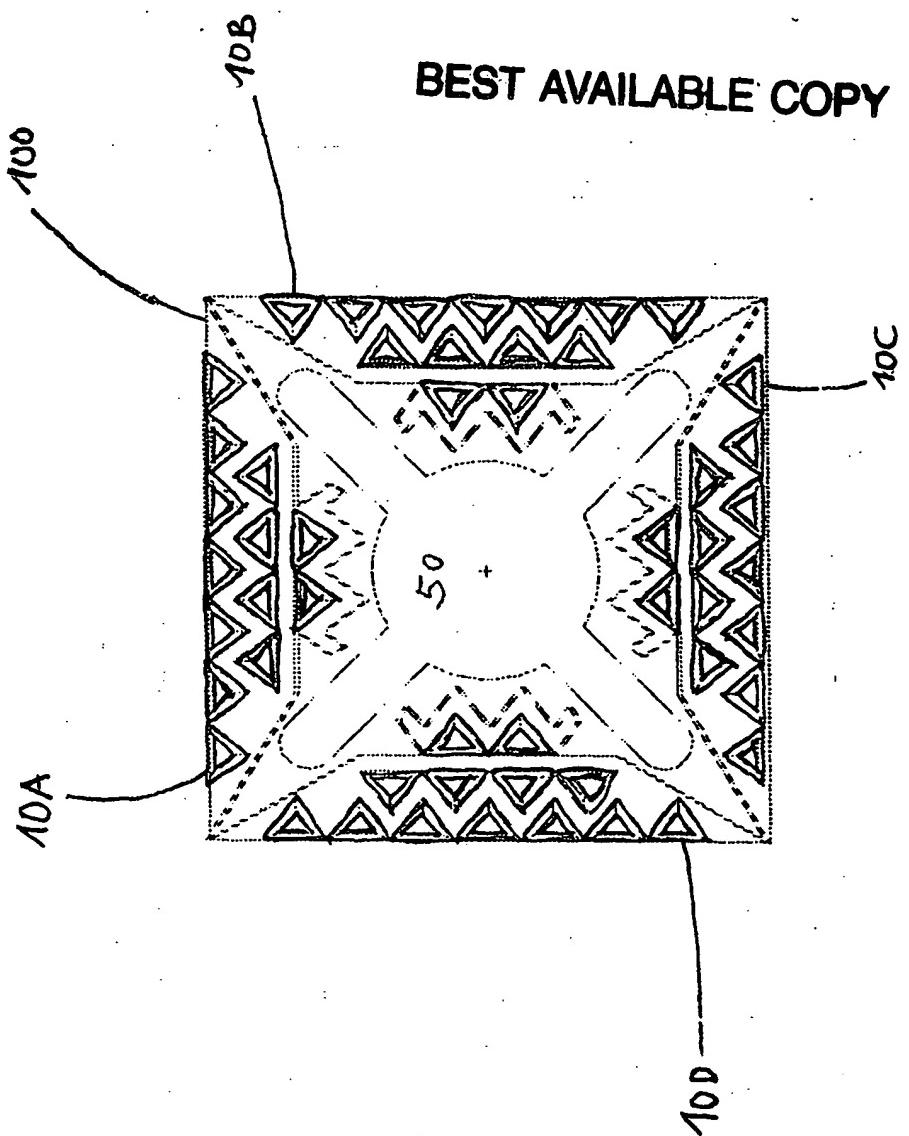
BEST AVAILABLE COPY

Fig. 3